



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**18.09.2002 Patentblatt 2002/38**

(51) Int Cl.7: **B21B 37/42**

(21) Anmeldenummer: **02001665.5**

(22) Anmeldetag: **24.01.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU**  
**MC NL PT SE TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(71) Anmelder: **Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH & Co.**  
**4031 Linz (AT)**

(72) Erfinder: **Widder, Markus**  
**4020 Linz (AT)**

(30) Priorität: **14.03.2001 AT 4002001**

(74) Vertreter: **VA TECH Patente GmbH & Co**  
**Penzinger Strasse 76**  
**1141 Wien (AT)**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Berechnung der Walzspaltkontur**

(57) Die erzielte Genauigkeit des Walzprofils eines Walzproduktes ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal einer Walzstraße. Die genaue Kenntnis der Walzspaltkontur in Walzstraßen ist dabei Voraussetzung zur Erzielung hoher Genauigkeiten durch eine entsprechende Regelung der Walzstraße. Bis jetzt waren genaue Berechnungen der Walzspaltkontur jedoch sehr zeitauf-

wendig, wodurch keine Echtzeit-Anwendung möglich war. Umgekehrt waren schnelle Berechnungen sehr ungenau, wodurch diese nur bedingt zur Regelung eingesetzt werden konnten. Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Berechnung der Walzspaltkontur, das sehr genaue Ergebnisse liefert und trotzdem in Echtzeit durchgeführt werden kann.

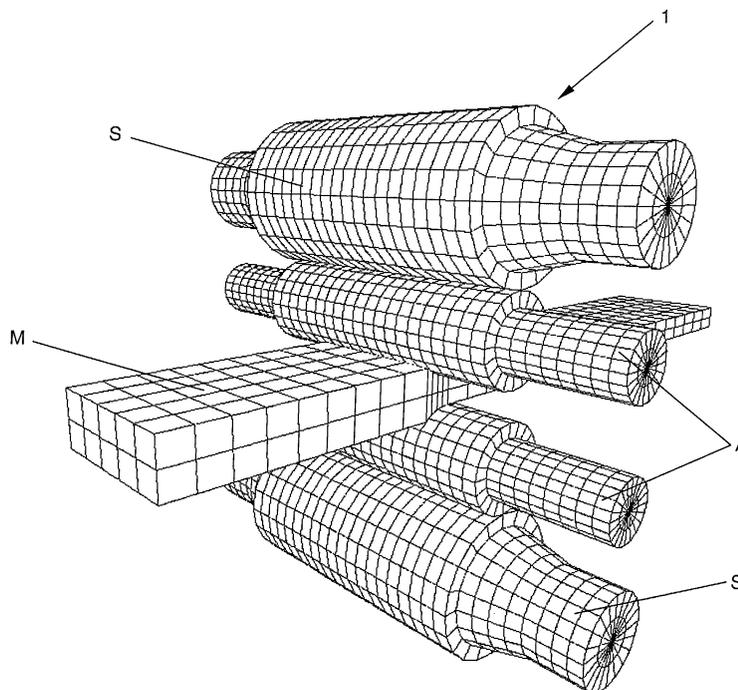


Fig. 1

**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Berechnung der Walzspaltkontur in einem Walzgerüst, bestehend aus zumindest zwei Arbeitswalzen, sowie eine zugehörige Vorrichtung.

**[0002]** Die genaue Kenntnis der Walzspaltkontur in Walzstraßen ist Voraussetzung zur präzisen Steuerung bzw. Regelung von Bandprofil und Bandplanheit, zwei wesentliche Parameter der Qualität eines Walzproduktes. In Warmwalzwerken, bestehend aus Vorstraße, Fertigstraße bzw. Grobblechstraße, können sowohl Band- bzw. Blechprofil als auch Band- bzw. Blechplanheit kontrolliert werden, in Kaltwalzwerken ist die Bandplanheit die zu kontrollierende Größe. In einer mehrgerüstigen Warmwalzstraße ist das korrekte Bandprofil in den ersten Walzgerüsten einzustellen, während die Bandplanheit des Walzproduktes im letzten Gerüst zu erzielen ist. Zunächst muss dazu das relative Walzspaltprofil in den ersten Walzgerüsten auf das relative Zielprofil des Bandes gesetzt werden, weiters ist das relative Walzspaltprofil im letzten Gerüst auf das relative Walzspaltprofil in den ersten Walzgerüsten abzustimmen. Um Bandplanheit des Bandes zwischen den Walzgerüsten zu gewährleisten (ruhiger Bandlauf), ist das relative Walzspaltprofil von Walzgerüst zu Walzgerüst konstant zu halten. Dies verdeutlicht, wie wichtig die Kenntnis der Walzspaltkontur für die Qualität des Walzproduktes ist.

Die bisher verfügbaren Methoden zur Ermittlung der Walzspaltkontur lassen sich grob in zwei Klassen unterteilen:

#### 1. Offline-Berechnungen

Da diese offline, d.h. nicht während des eigentlichen Walzvorganges, durchgeführt werden, sind diese Methoden zeitunkritisch. Es werden hier typischerweise Finite-Element-Methoden eingesetzt, bei denen ein Walzgerüst und Walzmaterial mit Finite-Elemente modelliert wird und die Deformation der Walzen unter einer vorgegebenen Belastung ermittelt wird. Ein solcher Berechnungsvorgang liefert sehr genaue Ergebnisse, benötigt jedoch einige Minuten bis einige Stunden, wodurch diese Methoden absolut ungeeignet für Echtzeit-Anwendungen, wie z.B. eine Regelung einer Walzstraße, sind. Darüber hinaus können damit natürlich keine dynamischen Einflüsse berücksichtigt werden, da die Lösung nur für die Berechnung mit den vorgegebenen Randbedingungen Gültigkeit hat.

#### 2. Online-Berechnungen

Ziel dieser Methoden ist es, die Walzspaltkontur in Echtzeit zu berechnen. Da diese Berechnungen naturgemäß sehr zeitkritisch sind, können nur Näherungsverfahren angewandt werden. Dazu werden existierende Lösungen der Elastizitätstheorie, wie ein eingespannter Träger unter Volumenkraft, unter Querkraft bzw. Momentbelastung, oder die Deformation eines elastischen Halbraumes unter lokal wirkender Kraft, kombiniert, wodurch diese Methoden zwar sehr schnell arbeiten, aufgrund der Näherungsverfahren, durch die anhaftende Ungenauigkeit dieser Verfahren, jedoch nur eingeschränkt brauchbare bzw. sogar unbrauchbare Ergebnisse liefern.

**[0003]** Ziel der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Berechnung der Walzspaltkontur anzugeben, dass sehr genaue Ergebnisse liefert und trotzdem schnell genug für Echtzeit-Anwendungen ausgeführt werden kann.

**[0004]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Walzspaltkontur online aus den Ergebnissen einer vorab durchgeführten Vorab-Berechnung und einer online durchgeführten Online-Berechnung zusammengesetzt wird.

Diese Vorgangsweise ermöglicht es, die Vorteile einer Vorab-Berechnung, die hohe Genauigkeit, und einer Online-Berechnung, die große Geschwindigkeit, in einem Verfahren zu vereinen, wodurch es möglich wird, die Walzspaltkontur sehr schnell und mit hoher Genauigkeit zu berechnen. Dieses Verfahren ist deshalb einfach in eine Echtzeit-Anwendung, z.B. eine Regelung einer Walzstraße, einzubinden. Darüber hinaus kann durch die hohe Genauigkeit des Verfahrens die Qualität des Walzproduktes gesteigert werden, da vorgegebene Walzprofile sehr genau eingehalten werden können.

**[0005]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn als Lösung der Vorab-Berechnung ein Deformationsvektorfeld, bzw. das radiale Deformationsfeld, einer Walze unter einer vorgegebenen Belastung berechnet wird. Die Lösung lässt sich dabei sehr einfach auffinden, wenn die Lösung als Fourierreihe dargestellt wird.

**[0006]** Ein sehr günstiges Verfahren ergibt sich, wenn die Lösung der Vorab-Berechnung mit einer Finite-Element Berechnung berechnet wird, da diese Berechnungen sehr genau sind und somit eine genaue Lösung des Problems ermittelt wird. Für die Erzielung einer bestimmten Genauigkeit ist es ausreichend, für die Lösung die ersten  $N_T$  Fouriermoden zu berechnen. Alternativ dazu kann die Lösung der Vorab-Berechnung als Summe einer Lösung einer Finite-Element Berechnung und einer Lösung einer semi-analytischen Berechnung berechnet werden. Die Lösung der semi-analytischen Berechnung kann einfach aufgefunden werden, wenn die Lösung für einen unendlich langen Zylinder berechnet wird. Für die Erzielung einer bestimmten Genauigkeit ist es hierbei vorteilhaft, mit der Finite-Elemente Berechnung die ersten  $N_F$  Fouriermoden der Lösung und mit der semi-analytischen Berechnung die  $N_F+1$  bis  $N_T$  Fouriermoden der Lösung zu berechnen.

[0007] Wenn die Lösung für eine Walze mit normiertem Radius und/oder unter normierter Belastung berechnet wird, ergibt sich ein besonders vorteilhaftes Verfahren, da dann bestimmte Berechnungen nur ein einziges Mal durchgeführt werden müssen. In der Online-Berechnung können die normierten Lösungen dann sehr schnell durch eine geeignete Transformation an die realen Gegebenheiten angepasst werden, was die erforderliche Berechnungszeit verringert.

[0008] Besonders vorteilhaft werden die vorab ermittelten Lösungen dazu verwendet, online das Kontaktproblem zwischen Arbeitswalze und Walzmaterial und gegebenenfalls das Kontaktproblem zwischen weiteren sich berührenden Walzen zu berechnen. Zur Lösung wird also auf die Ergebnisse einer während des Walzenwechsels durchgeführten Vorab-Berechnung zurückgegriffen. Diese Ergebnisse müssen bei Bedarf nur mehr aus einem Speicher ausgelesen werden, was die Berechnung der Walzspaltkontur sehr beschleunigt und in Echtzeit-Anwendungen anwendbar macht.

[0009] Eine weitere Verbesserung des Verfahrens ergibt sich durch eine geeigneten Transformation des zweidimensionalen Kontaktproblems auf ein eindimensionales Kontaktproblem, wobei mit der Lösung aus der Vorab-Berechnung die Walzspaltkontur online anhand des eindimensionalen Kontaktproblems zwischen sich berührenden Walzen und/oder zwischen der Arbeitswalze und dem Walzmaterial berechnet wird und die eindimensionale Lösung im Anschluss auf die zweidimensionale Lösung rücktransformiert wird.

[0010] Sehr vorteilhaft kann das nichtlineare Kontaktproblem durch Linearisierung iterativ gelöst werden.

[0011] Durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann darüber hinaus beim Kalibrieren eines Walzgerüsts die Walzdeformationen einer Anzahl n Walzen des Walzgerüsts direkt aus den sich ergebenden w-1 gekoppelten Kontaktproblemen berechnet werden.

[0012] Um eine geforderte Banddicke zu erreichen, kann eine Korrektur zur Bandaustrittsdicke zumindest eines Walzgerüsts aus der Differenz der Walzdeformation beim Kalibrieren und beim herkömmlichen Walzvorgang in Echtzeit berechnet werden und die Bandaustrittsdicke in Echtzeit bei Bedarf durch Verändern von Stellgrößen korrigiert werden. Zusätzlich kann aus dem Vergleich der Berechnungen beim Kalibrieren und beim herkömmlichen Walzvorgang die gemessene Gerüstauflagekennlinie im Arbeitspunkt korrigiert werden. Mit den verfahrensmäßig berechneten Banddicken kann eine einfache Kontrolle der Toleranzhaltigkeit durchgeführt werden. Da die Ergebnisse des Verfahrens sehr genau sind, kann die Qualität der Walzprodukte, durch verbesserte Toleranzhaltigkeit bzw. durch die Einhaltung engerer Toleranzen, verbessert werden, was sich in weiterer Folge natürlich auch wirtschaftlich positiv auswirkt.

[0013] Sehr vorteilhaft wird das erfindungsgemäße Verfahren in einer übergeordneten Regelung einer Walzstraße eingebunden, die die Walzspaltkontur, und gegebenenfalls die Bandaustrittsdicke, in Echtzeit berechnet, mit einem vorgegebenen Wert vergleicht und außerhalb der vorgegebenen Toleranz liegende Abweichungen der Walzspaltkontur bzw. der Banddicke in Echtzeit durch Verändern von Stellgrößen korrigiert. Damit hat man die Möglichkeit, das Walzprofil angefangen vom ersten bis zum letzten Walzgerüst genau zu steuern. Die Einstellungen der einzelnen Walzgerüste können auf einander abgestimmt werden und so die Qualität des Walzproduktes weiter verbessert werden.

[0014] Ganz besonders vorteilhaft wird das Verfahren auf einem Computer in Form eines Computerprogramms implementiert, da dann das Verfahren sehr einfach und sehr flexibel an sich ändernde Verhältnisse angepasst, bzw. sehr einfach erweitert werden kann.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Berechnung der Walzspaltkontur wird anhand der Figuren 1 bis 3 und der folgenden Beschreibung beispielhaft und nicht einschränkend beschrieben. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines einzelnen Walzgerüsts,

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Walzensatzes während des Walzvorganges und

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Ergebnisse einer Walzkonturberechnung.

[0016] Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf die Fig. 1 bis 3. Zuerst wird die Deformation einer einzelnen Walze unter einer radialen Druckbelastung  $p(r, \varphi, z)$  berechnet. Die zugrundeliegende Beziehung dazu, ist die sich aus der differentiellen Gleichgewichtsbedingung,  $\partial_j \sigma_{ij} + \rho g_i = 0$ , und dem verallgemeinerten Hook'schen Gesetz,

$$\sigma_{ij} = \frac{E}{1+\nu} \left( u_{,ij} + u_{,ii} \delta_{ij} \frac{\nu}{1-2\nu} \right)$$

mit  $u_{,ij} = \frac{\partial_j u_i + \partial_i u_j}{2}$ , ergebende bekannte Lamé-Gleichung in der Form:

$$\frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \text{grad div } \mathbf{u} - \frac{E}{2(1+\nu)} \text{rot rot } \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} = 0.$$

EP 1 240 955 A1

$r, \varphi, z$  bezeichnen die Zylinderkoordinaten in Radial-, Winkel- und Achsenrichtung,  $\mathbf{u}$  das Deformationsvektorfeld  $\mathbf{u}(r, \varphi, z)$  mit Komponenten in Richtung  $r, \varphi, z$ ,  $E$  den Elastizitätsmodul,  $\nu$  die Querdehnungszahl,  $\rho$  die Dichte des Walzenmaterials,  $\mathbf{g}$  die Gravitationsbeschleunigung,  $\sigma_{ij}$  den Spannungstensor und  $u_{ij}$  den Verformungstensor. Dieses gekoppelte System linearer partieller Differentialgleichungen ist unter Zuhilfenahme von geeigneten Randbedingungen,

5

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} &= p(R_w, \varphi, z) \\ \sigma_{rz} &= 0 \text{ bzw. } \sigma_{r\varphi} = 0 \text{ im Ballenbereich, mit dem Radius } R_w \text{ der Walze in Walzenmitte, bzw.} \\ \sigma_{rr} &= p(R_L, \varphi, z) \\ \sigma_{rz} &= 0 \text{ bzw. } \sigma_{r\varphi} = 0 \text{ im Bereich der Walzenlager, mit dem Zapfenradius } R_L \text{ im Bereich des Walzenlagers,} \end{aligned}$$

10

zu lösen.

**[0017]** Im Fall einer konischen Lagerform sind  $\sigma_{rr}, \sigma_{rz}, \sigma_{r\varphi}$  durch  $\sigma_{nn}, \sigma_{nt}, \sigma_{n\varphi}$  zu ersetzen, wobei  $\sigma_{nn}, \sigma_{nt}, \sigma_{n\varphi}$  die Komponenten des Spannungstensors in transformierten Koordinaten sind,  $n$  bezeichnet die Normalenrichtung bzgl. des Lagerkonus,  $t$  ist die entsprechende Transversalrichtung.

15

**[0018]** Aufgrund der Linearität der Lamé-Gleichung lässt sich jede Lösung zu einer gegebenen Druckverteilung  $p(R, \varphi, z)$  als Superposition der Lösungen zu speziellen Druckverteilungen  $p_{ij}(R, \varphi, z)$  darstellen, mit  $i = 1, \dots, N_z$  und  $j = 1, \dots, N_\varphi$ :

20

$$\begin{aligned} p_{ij}(R, \varphi, z) &= 1 \quad \text{für } -\frac{L_B}{2} + \frac{L_B}{N_z}(i-1) < z < -\frac{L_B}{2} + \frac{L_B}{N_z}j \\ &\text{und } \frac{2\pi}{N_\varphi}(j-1)\pi < \varphi < \frac{2\pi}{N_\varphi}j - \pi \end{aligned}$$

25

und

$$p_{ij}(R, \varphi, z) = 0$$

30

sonst.

**[0019]**  $L_B$  bezeichnet hierbei die Ballenlänge der Walze. Wegen der Rotationssymmetrie genügt es allerdings, die Lösungen zu den Druckverteilungen  $p_{i0}(R, \varphi, z)$ ,  $i = 1, \dots, N_z$ , zu bestimmen.

35

**[0020]** Jede Lösung  $L$  der Lamé-Gleichung kann in allgemein bekannter Form als Fourierreihe dargestellt werden. Zur Lösung wird der spezielle Ansatz  $L = L^{FEM} + L^{ANL}$  gewählt.

$$L_n^{FEM}(r, z)$$

40

bezeichnet in Folge die  $n$ -te Fouriermode einer Lösung der Lamé-Gleichung, berechnet mit der Methode der Finite-Elemente im Fourierraum und

45

$$L_n^{ANL}(r, z)$$

bezeichnet die  $n$ -te Fouriermode einer Lösung der Lamé-Gleichung, berechnet mit semi-analytischen Methoden für einen unendlich langen Zylinder. Die gesamte Lösung  $L$  wird also aus einer Finite-Elemente Lösung  $L^{FEM}$  und einer semi-analytischen Lösung  $L^{ANL}$  konstruiert. Die Randbedingung  $\sigma_{rr} = p(R, \varphi, z)$  ist in analoger Weise durch die fouriertransformierte Form  $\sigma_{rrn} = p_n(R, z)$  zu ersetzen.

50

Aufgrund der speziellen Eigenschaften der zylinderförmigen Walzengeometrie ist der Gravitationsbeitrag sowie die Lagerkraft nur in der ersten Fouriermode ( $n=1$ ) zu berücksichtigen.

**[0021]** Es ist im Rahmen der Erfindung auch möglich, gänzlich auf semi-analytische Lösungen  $L^{ANL}$  zu verzichten und alle notwendigen Fouriermoden mit der Finite-Elemente-Berechnung zu ermitteln, d.h.  $L = L^{FEM}$ .

55

**[0022]** Die Lösungen  $L^{FEM}$  der Finite-Element Berechnung können mit den hinlänglich bekannten Methoden der Finiten-Elemente gefunden werden. Der beispielhafte Lösungsweg wird deshalb in Folge nur in groben Zügen skizziert. Die Lamé-Gleichung wird zuerst mit einer Testfunktion  $\mathbf{v}$  multipliziert und anschließend über das Volumen  $V$  mit Oberfläche  $O$  aufintegriert. Mit der Darstellung eines Rotationskörpers  $K$  als Produkt von Rotationsfläche  $F$  und Winkelva-

## EP 1 240 955 A1

riablen  $\varphi$ ,  $K = F \otimes \varphi$ , mit der Darstellung von  $F$  als Summe von Dreiecken  $F_d$ ,

5

$$F = \sum_d F_d,$$

und der Darstellung von  $u$  als Summe von geeigneten Testfunktionen

10

$$u_k^i \cos(n\varphi)$$

bzw.

15

$$u_k^i \sin(n\varphi),$$

20

mit Amplituden  $c_{kn}^i$  und Integration über die Winkelvariable  $\varphi$  gelangt man in jedem Fouriermode zu einem linearen Gleichungssystem zur Bestimmung der Amplituden  $c_{kn}^i$ . Für jeden der  $N_F$  Fouriermoden sind also zu den  $N_z$  Druckverteilungen  $p_{i0}(R, \varphi, z)$ ,  $i = 1, \dots, N_z$  die entsprechenden Amplituden zu berechnen. Daraus folgen im Besonderen  $N_F \times N_z$  Lösungen für das radiale Deformationsfeld

25

$$u_m^{FEM,i} \cos(n\varphi),$$

$n = 0, \dots, N_F - 1$ ,  $i = 1, \dots, N_z$ .

30

**[0023]** Zur Lösung des semi-analytischen Anteils der Gesamtlösung, wird der folgende Ansatz gewählt:

$$u_m^{ANL} = u_n^r(r, z) \cos(n\varphi),$$

35

$$u_{\varphi n}^{ANL} = u_n^\varphi(r, z) \sin(n\varphi)$$

und

40

$$u_{zn}^{ANL} = u_n^z(r, z) \cos(n\varphi).$$

45

**[0024]** Die Funktionen

$$u_n^r(r, z), u_n^\varphi(r, z) \text{ und } u_n^z(r, z)$$

50

werden selbst wieder als Fourierintegrale bzgl.  $z$  dargestellt. Dies führt nach Einsetzen in die Lamé-Gleichung auf drei linear unabhängige Sätze von Lösungen für den semi-analytischen Anteil. Die Randbedingung  $\sigma_{rr n} = p_n(R, z)$  wird, wie aus den obigen Ausführungen bereits bekannt, ebenfalls als Fourierintegral dargestellt.

55

Durch Linearkombination der drei sich ergebenden Lösungssätze können diese Randbedingungen erfüllt werden. Numerische Integration der so berechneten Lösungen bzgl.  $k$  liefert dann die Lösung  $L_n^{ANL}$  des Randwertproblems für die  $n$ -te Fouriermode.

**[0025]** Zu beachten ist hier besonders, dass die Lösung für eine auf Radius  $R = 1$  normierte Walze ermittelt werden kann. Multiplikation des so berechneten Deformationsvektorfeldes mit dem aktuellen Walzenradius liefert dann das

aktuelle Deformationsvektorfeld. Es werden dabei im Besonderen die speziellen Randbedingungen

5

$$p_n(1, z) = 1$$

für  $-c_0 < z < c_0$  und

10

$$p_n(1, z) = 0$$

sonst

15

gewählt. D.h., dass die Lösung  $L^{ANL}$  für eine normierte Walze mit Breite  $2c_0$  und Radius  $R = 1$  ermittelt wird. Der Wert für  $c_0$  kann dabei beliebig gewählt werden. Um aus diesen normierten Lösungen  $L_{c_0}^{ANL}$  die Lösung  $L_c^{ANL}$  für die tatsächlichen Abmessungen der Walze zu erhalten, kann eine geeignete mathematische Transformation verwendet werden. Für die Gesamtlösung im realen Raum (=Summe aller Fouriermoden) existiert eine analoge Vorschrift bzgl. der Variablen  $\varphi$ . Damit kann aus einer einmal berechneten normierten Lösung  $L_{c_0\varphi_0}^{ANL}$ , definiert über

20

$$p_n(1, \varphi, z) = 1$$

für  $-c_0 < z < c_0, -\varphi_0 < \varphi < \varphi_0$  und

25

$$p_n(1, \varphi, z) = 0$$

sonst,

30

und einer geeigneten Transformation jede beliebige Lösung  $L^{ANL}$  abgeleitet werden.

Es wird also einmalig die normierte Lösung  $L_{c_0\varphi_0}^{ANL}$  berechnet und erst bei Bedarf die Transformation der Lösungen auf die tatsächliche Geometrie durchgeführt.

35

Es ist natürlich auch möglich, direkt für die jeweilige Geometrie der Walze diese Lösungen  $L^{ANL}$  zu bestimmen. Die Berechnung dieser Lösungen  $L^{ANL}$  beansprucht jedoch sehr viel Rechenzeit, weshalb es günstiger ist, die Berechnungen nur einmal durchzuführen und dann bei Bedarf lediglich die Transformationen durchzuführen.

40

**[0026]** Auf diese Weise wird die Lösung  $L$  der Lamé-Gleichung ermittelt, wodurch der Deformationszustand einer einzelnen Walze, hervorgerufen durch eine radiale Druckbelastung  $p(r, \varphi, z)$  bekannt ist. Während des Walzbetriebes ergibt sich jedoch im Walzgerüst 1, wie in Fig. 1 bzw. Fig. 2 dargestellt, eine Berührung zwischen der Arbeitswalze A und dem Walzmaterial M und zwischen der Arbeitswalze A und einer Stützwalze S. Bei mehrstöckigen Walzgerüsten können sich auch noch zwei oder mehrere Stützwalzen berühren, wodurch sich ein mehrfaches Kontaktproblem ergibt, das gelöst werden muss, um die aktuelle Walzspaltkontur zu erhalten. Es wird im Folgenden beispielhaft der obere Walzensatz hergenommen und die Lösung des Kontaktproblems anhand dieses Walzensatzes beschrieben. Dieser Lösungsweg ist dann natürlich auch für den unteren und alle anderen Walzensätze, auch für solche, wo nur Arbeitswalzen A vorhanden sind, äquivalent anzuwenden.

45

**[0027]** Während des Walzvorgangs, Fig. 2, ergibt sich für den oberen Walzensatz folgende Situation: Die Arbeitswalze A ist an der Unterseite des Ballens über die Bandbreite B in Kontakt mit dem Walzmaterial M und an der Oberseite in Kontakt mit der Stützwalze S. In den Lagern der Arbeitswalze wirken Biegekräfte  $F_B$ . Die Position der Arbeitswalze A kann quer zur Walzrichtung eine Verschiebung  $d_A$  aufweisen. Die Position des Walzmaterials M kann ebenfalls quer zur Walzrichtung verschoben sein, Verschiebung  $d_M$ . Zwischen Walzmaterial M und Arbeitswalze A wirkt die Walzkraft  $F_W$ .

50

Die Stützwalze S ist an ihrer Unterseite in Kontakt mit der Arbeitswalze A. In den Lagern der Stützwalze S wirken die Ständerkräfte  $F_S$ .

55

Sowohl Arbeits- A als auch Stützwalze S weisen einen Schliff auf ( $s_A, s_S$ ), beide Walzen sind thermisch gedehnt ( $t_A, t_S$ ) und ihre Kontur ist durch Verschleiß verändert ( $v_A, v_S$ ). Diese Einflüsse sind als bekannt anzusehen und können entweder direkt aus Messungen bestimmt werden, oder stammen wiederum aus geeigneten Modellrechnungen.

Die Kontaktfläche  $K_{AM}$  zwischen Arbeitswalze A und Walzmaterial M, bezogen auf das Koordinatensystem der Arbeitswalze A, wird folgendermaßen beschrieben:

$$K_{AM} = \left[ -\frac{B}{2} - d_A + d_M, \frac{B}{2} - d_A + d_M \right] \otimes [0, \Phi_k].$$

5  
**[0028]** Der Kontaktwinkel  $\Phi_k$  ergibt sich aus der bzgl. z maximalen Kontaktlänge  $L_k$ , dividiert durch den Radius der Arbeitswalze A. Die Kontaktfläche  $K_{AM}$  wird zerlegt in rechteckige Intervalle

$$R_{ij}^{AM}$$

mit  $i = 1, \dots, N_z^{AM}$  und  $j = 1, \dots, N_\phi^{AM}$

10  
**[0029]** Die Kontaktfläche  $K_{AS}^\phi$  zwischen Arbeitswalze A und Stützwalze S, bezogen auf das Koordinatensystem der Arbeitswalze A, wird analog folgendermaßen beschrieben:

$$K_{AS} = \left[ \max\left(-\frac{L_{BA}}{2}, -\frac{L_{BS}}{2} - d_A\right), \min\left(\frac{L_{BA}}{2}, \frac{L_{BS}}{2} - d_A\right) \right] \otimes [-\Phi_s, \Phi_s].$$

15  
 $\Phi_s$  ist dabei wieder der bzgl. z maximale auftretende Kontaktwinkel und  $L_{BA}$  bzw.  $L_{BS}$  sind die Ballenlängen von Arbeitswalze A und Stützwalze S. Die Kontaktfläche  $K_{AS}$  wird wiederum zerlegt in rechteckige Intervalle

$$R_{ij}^{AS}$$

mit  $i = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $j = 1, \dots, N_\phi^{AS}$ .

20  
**[0030]** Zu einer normierten radialen Druckverteilung  $P_{ij}^{AM}$  auf die Kontaktfläche  $K_{AM}$  in der Form

$$P_{ij}^{AM} = 1$$

für  $(\phi, z) \in R_{ij}^{AM}$ ,

$$P_{ij}^{AM} = 0$$

sonst

und mit  $i = 1, \dots, N_z^{AM}$  und  $j = 1, \dots, N_\phi^{AM}$ , ergibt sich mit den oben beschriebenen Methoden das radiale Deformationsfeld auf der Arbeitswalzenunterseite

$$U_{ij,kl}^{AM}$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AM}$  und  $l = 1, \dots, N_\phi^{AM}$ ,

sowie das radiale Deformationsfeld auf der Arbeitswalzenoberseite

$$O_{ij,kl}^{AM}$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $l = 1, \dots, N_\phi^{AS}$ .

25  
**[0031]** Die Indizes i und j beschreiben folglich den Angriffspunkt des Druckes p und die Indizes k und l beschreiben den Ort wo die Deformation auftritt. Analog dazu ergibt sich zu einer normierten radialen Druckverteilung  $Q_{ij}^{AS}$  auf die Kontaktfläche  $K_{AS}$  in der Form

$$Q_{ij}^{AS} = 1$$

für  $(\varphi, z) \in R_{ij}^{AS}$ ,

$$Q_{ij}^{AS} = 0$$

5

sonst

und mit  $i = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $j = 1, \dots, N_\varphi^{AS}$ , das radiale Deformationsfeld auf der Arbeitswalzenunterseite

10

$$u_{ij,kl}^{AS}$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AM}$  und  $l = 1, \dots, N_\varphi^{AM}$ ,  
sowie das radiale Deformationsfeld auf der Arbeitswalzenoberseite

15

$$o_{ij,kl}^{AS}$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $l = 1, \dots, N_\varphi^{AS}$ ,  
sowie das radiale Deformationsfeld auf der Stützwalzenunterseite

20

$$s_{ij,kl}^{AS}$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $l = 1, \dots, N_\varphi^{AS}$ .

25 **[0032]** Bei  $z$  gegebenen tatsächlichen Druckverteilungen  $p_{ij}^{AM}$  auf  $K_{AM}$  und  $q_{ij}^{AS}$  auf  $K_{AS}$  ergibt sich für die Gesamtdeformation an der Arbeitswalzenunterseite somit die Beziehung

30

$$u_{kl} = \sum_{ij} u_{ij,kl}^{AM} p_{ij}^{AM} + \sum_{ij} u_{ij,kl}^{AS} q_{ij}^{AS} + s_{Ak}^u + t_{Ak}^u + v_{Ak}^u - x_0 - x_1 k,$$

an der Arbeitswalzenoberseite die Beziehung

35

$$o_{kl} = \sum_{ij} o_{ij,kl}^{AM} p_{ij}^{AM} + \sum_{ij} o_{ij,kl}^{AS} q_{ij}^{AS} + s_{Ak}^o + t_{Ak}^o + v_{Ak}^o - x_0 - x_1 k$$

40

und an der Stützwalzenunterseite die Beziehung

45

$$s_{kl} = \sum_{ij} s_{ij,kl}^{AS} q_{ij}^{AS} + s_{Sk} + t_{Sk} + v_{Sk}.$$

50

**[0033]** Dabei bezeichnen  $s_{AK}^u, t_{AK}^u, v_{AK}^u$  den Arbeitswalzenschliff, -dehnung und -verschleiß bezogen auf die Diskretisierung zwischen Arbeitswalze A und Walzmaterial M, d.h.  $k = 1, \dots, N_z^{AM}$ ,  $s_{AK}^o, t_{AK}^o, v_{AK}^o$  den Arbeitswalzenschliff, -dehnung und -verschleiß bezogen auf die Diskretisierung zwischen Arbeitswalze A und Stützwalze S, d.h.  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $s_{SK}, t_{SK}, v_{SK}$  den Stützwalzenschliff, -dehnung und -verschleiß bezogen auf die Diskretisierung zwischen Arbeitswalze A und Stützwalze S, d.h.  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$ .  $x_0$  und  $x_1$  beschreiben eine zusätzliche vertikale Verschiebung bzw. Verkippung der Arbeitswalze A. Die Gesamtdeformation an der Arbeitswalzenunterseite  $u_{kl}$  entspricht dabei genau der gesuchten Walzspaltkontur, d.h. die Bestimmung der Walzspaltkontur ist gleichzusetzen mit der Berechnung von  $u_{kl}$ . Dazu wird das Kontaktproblem wie folgt formuliert:

55

$$o_{kl} + s_{kl} \leq r_k$$

mit  $k = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $l = 1, \dots, N_\varphi^{AS}$  und

$$q_{ij}^{AS} \geq 0$$

5

mit  $i = 1, \dots, N_z^{AS}$  und  $j = 1, \dots, N_\varphi^{AS}$ .

$r_k$  ist dabei der nichtdeformierte Abstand zwischen Arbeits- A und Stützwalze S. Zusätzlich müssen Gesamtkraft und Gesamtmoment verschwinden, was zwei weitere Gleichungen zur Bestimmung von  $x_0$  und  $x_1$  liefert.

10

Aus dem oben formulierten Kontaktproblem wird jetzt  $q_{ij}^{AS}$ ,  $x_0$  und  $x_1$  ermittelt. Zu beachten ist dabei auch, dass wenn die Druckverteilung  $p_{ij}^{AM}$  zwischen Arbeitswalze A und Walzmaterial M als bekannt angenommen werden kann,  $q_{ij}^{AS}$ ,  $x_0$  und  $x_1$  direkt berechnet werden können. Ist die Druckverteilung  $p_{ij}^{AM}$  nicht bekannt, müssen  $p_{ij}^{AM}$ ,  $q_{ij}^{AS}$ ,  $x_0$  und  $x_1$  iterativ berechnet werden.

Mit den somit bestimmten  $q_{ij}^{AS}$ ,  $x_0$  und  $x_1$  bzw.  $p_{ij}^{AM}$  kann nun die Walzspaltkontur, d.h.  $u_{kl}$ , berechnet werden.

15

**[0034]** Das oben in Form von zwei Ungleichungen formulierte Kontaktproblem ist jedoch nichtlinear, weshalb die Lösung auf iterativen Wege erfolgt. Der Ausgangspunkt für die iterative Lösung kann beispielsweise ein linearisiertes Gleichungssystem der Form

$$M_{ij,kl}^0 q_{ij}^0 = b_{ij}^0$$

20

mit

$$q_{ij}^0 = (q_{11}^{AS,0}, \dots, q_{N_z^{AS} N_\varphi^{AS}}^{AS,0}, x_0, x_1) \equiv (q_1, \dots, q_{D^0})$$

25

und der

$$\text{Dimension } D^0 = N_z^{AS} \times N_\varphi^{AS} + 2$$

30

sein. Die Matrix  $\mathbf{M}$  wird dabei durch die Komponenten  $o_{ij}^{AS}$  und  $s_{ij}^{AS}$  der Beziehungen für  $o_{kl}$  und  $s_{kl}$  gebildet. Der Vektor  $\mathbf{b}$  enthält dann folglich alle anderen Komponenten der Beziehungen für  $o_{kl}$  und  $s_{kl}$ .

35

Eine deutliche Verminderung der Rechenzeit kann durch Reduktion des zweidimensionalen Kontaktproblems auf ein eindimensionales, mittels einer geeigneten mathematischen Transformation, erzielt werden. Das Kontaktproblem ist dabei nur entlang einer Linie  $\varphi = \text{konst.}$  zu lösen und im Anschluss auf das zweidimensionale Problem umzurechnen.

40

**[0035]** Das obige Verfahren kann jedoch nicht nur zur Berechnung der Walzspaltkontur während des Walzvorganges herangezogen werden, sondern es können auch die Walzdeformationen beim Kalibrieren des Walzgerüsts 1 berechnet werden. Für Walzgerüste mit einer Anzahl  $w$  Walzen ergeben sich dabei  $w-1$  Kontaktprobleme, die gelöst werden müssen. Beim Kalibrieren eines zweistöckigen Walzgerüsts 1, wie in Fig. 1 und 2 gezeigt, sind im Gegensatz zum Walzvorgang die beiden Arbeitswalzen A in direkter Berührung. Daher sind drei gekoppelte Kontaktprobleme zu lösen:

45

$$o_{kl}^o + s_{kl}^o \leq r_k^o \quad q_{ij}^o \geq 0$$

Kopplung des oberen Walzensatzes,

50

$$u_{kl}^o + o_{kl}^u \leq r_k^m \quad q_{ij}^m \geq 0$$

Kopplung der beiden Arbeitswalzen und

55

$$u_{kl}^u + s_{kl}^u \leq r_k^u \quad q_{ij}^u \geq 0$$

Kopplung des unteren Walzensatzes.

**[0036]** Zusätzlich müssen für beide Walzensätze separat und für das gesamte System jeweils Gesamtkraft und

Gesamtmoment verschwinden, was die Variablen  $x_0^o, x_1^o, x_0^m, x_1^m, x_0^u, x_1^u$  festlegt. Der Lösungsalgorithmus ist in weiterer Folge analog zu oben.

**[0037]** Bei einer beispielhaften, praktischen Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Warmwalzwerken wird zuerst einmalig die Offline-Berechnung durchgeführt. Dabei wird die normierte semi-analytische Lösung  $L_{c_0^o}$  einmal berechnet (Rechenzeit ungefähr 20min;

**[0038]** Anm.: alle Angaben zur Rechenzeit sind beispielhaft und beziehen sich in Folge auf einen PC mit 350MHz Taktfrequenz). Weiters werden, beispielsweise bei jedem Walzenwechsel, als Vorab-Berechnung vorab die Fourier-Finite-Elemente-Lösungen und daraus die radialen Deformationsfelder ermittelt (Rechenzeit ungefähr 40 sec pro Walze).

Im Betrieb werden danach bei Bedarf die Online-Berechnungen durchgeführt. Während der nach dem Walzenwechsel notwendigen Kalibrierung der Walzgerüste 1 wird die dabei auftretende Deformation der Walzen berechnet (Rechenzeit ungefähr 1sec pro Walzgerüst). Alle diese Berechnungen müssen nur einmal durchgeführt werden. Während des eigentlichen Walzvorganges wird dann bei Bedarf die aktuelle Walzspaltkontur, sowie jene Korrektur zur Bandaustrittsdicke, die aus der Differenz der Walzendeformation beim Kalibrieren und beim normalen Walzvorgang resultiert, berechnet. Zur präzisen Regelung der Bandaustrittsdicke über die Bandlänge wird außerdem die genaue Steigung der Gerüstauflagerkennlinie (= Änderung der Gerüstauflagerkraft / Änderung der Ständerkraft) im Arbeitspunkt benötigt. Diese folgt aus der gemessenen Kennlinie, korrigiert um die berechnete Differenz der Steigungen beim Kalibrieren und beim normalen Walzvorgang. (Rechenzeit ungefähr 0.05sec pro Walzensatz).

Alle rechenzeitintensiveren Berechnungen werden somit vorab bzw. offline durchgeführt. Die eigentliche Online-Berechnung beansprucht nur sehr wenig Rechenzeit, ohne jedoch an Genauigkeit einzubüßen, weshalb diese in Echtzeit durchgeführt werden kann. Dieses Verfahren wird folglich in ein übergeordnetes Steuerungs- und Regelkonzept für die Walzstraße eingebettet. Während des Walzvorganges kann für jedes einzelne Walzgerüst 1 jederzeit die Walzspaltkontur berechnet werden und mit vorgegebenen Werten verglichen werden. Die Regelung kann bei Feststellen von Abweichungen durch Einflussnahme auf gewisse Stellgrößen, wie beispielsweise die Biegekraft, die Walzenanstellung oder die Arbeitswalzenverschiebung, die notwendigen Korrekturen vornehmen.

**[0039]** In Fig. 3 sind beispielhaft die Ergebnisse einer solchen Walzspaltkonturberechnung graphisch dargestellt. Im oberen Bild berühren sich die Stützwalzenunterseite und die Arbeitswalzenoberseite während des Walzvorganges. Die daraus resultierende Druckverteilung  $q^{AS}$  ist in der mittleren Abbildung dargestellt. Man erkennt, dass an der Walze nur dort eine Druckbelastung auftritt, wo sich die beiden Walzen berühren, womit die Randbedingungen erfüllt sind. In der unteren Abbildung ist die berechnete Walzspaltkontur  $u_{kl}$  dargestellt. Die kubische Form der Walzspaltkontur  $u_{kl}$  ergibt sich dabei aus dem angewendeten kubischen Arbeitswalzenschliff.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Berechnung der Walzspaltkontur in einem Walzgerüst, bestehend aus zumindest zwei Arbeitswalzen (A), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzspaltkontur online aus den Ergebnissen einer vorab durchgeführten Vorab-Berechnung und einer online durchgeführten Online-Berechnung zusammengesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Lösung L der Vorab-Berechnung ein Deformationsvektorfeld  $\mathbf{u}(r, \varphi, z)$ , bzw. das radiale Deformationsfeld  $u_r$ , einer Walze unter einer vorgegebenen Belastung berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lösung L als Fourierreihe dargestellt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lösung L der Vorab-Berechnung mit einer Finite-Element Berechnung  $L^{FEM}$  berechnet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Lösung L die ersten  $N_T$  Fouriermoden berechnet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lösung L der Vorab-Berechnung als Summe einer Lösung einer Finite-Element Berechnung  $L^{FEM}$  und einer Lösung einer semi-analytischen Berechnung  $L^{ANL}$  berechnet wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lösung der semi-analytischen Berechnung  $L^{ANL}$  als Lösung für einen unendlich langen Zylinder berechnet wird.

## EP 1 240 955 A1

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Finite-Element Berechnung die ersten  $N_F$  Fouriermoden der Lösung L und mit der semi-analytischen Berechnung die  $N_F+1$  bis  $N_T$  Fouriermoden der Lösung L berechnet werden.
- 5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Lösung L für eine Walze mit normierten Radius und/oder unter normierter Belastung berechnet wird.
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Online-Berechnung und/oder der Vorab-Berechnung die normierten Lösungen durch eine geeignete Transformation an die realen Gegebenheiten angepasst werden.
- 15 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Online-Lösung die Walzspaltkontur mit der Lösung aus der Vorab-Berechnung online aus dem Kontaktproblem zumindest zwischen der Arbeitswalze (A) und dem Walzmaterial (M) und gegebenenfalls zwischen weiteren sich berührenden Walzen berechnet wird.
- 20 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweidimensionale Kontaktproblem mit einer geeigneten Transformation auf ein eindimensionales Kontaktproblem reduziert wird, die Walzspaltkontur mit der Lösung aus der Vorab-Berechnung online anhand des eindimensionalen Kontaktproblems zwischen sich berührenden Walzen und/oder zwischen der Arbeitswalze (A) und dem Walzmaterial (M) berechnet wird und die eindimensionale Lösung im Anschluss auf die zweidimensionale Lösung rücktransformiert wird.
- 25 13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das nichtlineare Kontaktproblem iterativ gelöst wird.
- 30 14. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das nichtlineare Kontaktproblem durch Linearisierung in ein lineares Gleichungssystem umgewandelt wird und iterativ gelöst wird.
- 35 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Kalibrieren eines Walzgerüsts (1) die Walzdeformationen einer Anzahl w Walzen des Walzgerüsts (1) aus den sich ergebenden w-1 gekoppelten Kontaktproblemen berechnet werden.
- 40 16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Korrektur zur Bandaustrittsdicke zumindest eines Walzgerüsts (1) aus der Differenz der Walzdeformation beim Kalibrieren und/oder beim herkömmlichen Walzvorgang in Echtzeit berechnet wird und die Bandaustrittsdicke in Echtzeit bei Bedarf durch Verändern von Stellgrößen, wie beispielsweise die Walzenanstellung, korrigiert wird.
- 45 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Vergleich der Berechnungen beim Kalibrieren und beim herkömmlichen Walzvorgang die gemessene Gerüstauffederungskennlinie im Arbeitspunkt korrigiert wird.
- 50 18. Anwendung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 17 in einer Regelung einer Walzstraße mit zumindest einem Walzgerüst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzspaltkontur eines Walzgerüsts (1) in Echtzeit berechnet wird, mit einem vorgegebenen Wert verglichen wird und außerhalb der vorgegebenen Toleranz liegende Abweichungen der Walzspaltkontur in Echtzeit durch Verändern von Stellgrößen, wie beispielsweise der Biegekraft und/oder der Arbeitswalzenverschiebung, korrigiert werden.
- 55 19. Regelung nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bandaustrittsdicke eines Walzgerüsts (1) in Echtzeit berechnet wird und die Bandaustrittsdicke in Echtzeit durch Verändern von Stellgrößen, wie beispielsweise die Walzenanstellung, korrigiert wird.
20. Regelung nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem Vergleich der Berechnungen beim Kalibrieren und beim herkömmlichen Walzvorgang die gemessene Gerüstauffederungskennlinie im Arbeitspunkt korrigiert wird.
21. Vorrichtung zur Berechnung der Walzspaltkontur in einem Walzgerüst, bestehend aus zumindest zwei Arbeitswalzen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzspaltkontur in einer Berechnungseinheit online aus den Ergebnissen einer vorab durchgeführten Vorab-Berechnung und einer online durchgeführten Online-Berechnung berechnen-

bar ist.

- 5
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** Eingangsgrößen für die Berechnung der Walzspaltkontur, wie beispielsweise, Walzenschliff, Walzenverschleiß, Walzenverschiebungen, Kräfte, etc., messbar und/oder aus geeigneten Modellen berechenbar sind und in der Berechnungseinheit verarbeitbar sind.
- 10
23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Walzendeformation beim Kalibrieren eines Walzgerüstes und/oder während des Walzvorganges in der Berechnungseinheit in Echtzeit berechenbar ist und die Bandaustrittsdicke in Echtzeit bei Bedarf durch Verändern von Stellgrößen, wie beispielsweise die Walzenanstellung, korrigierbar ist.
- 15
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 23, **dadurch gekennzeichnet, dass** die gemessene Gerüstauffederungskennlinie im Arbeitspunkt durch einen Vergleich der Berechnungen beim Kalibrieren und beim herkömmlichen Walzvorgang korrigierbar ist.
- 20
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnungseinheit ein Computer ist.
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Berechnung der Walzspaltkontur und/oder Walzendeformation als Computerprogramm am Computer implementiert ist.

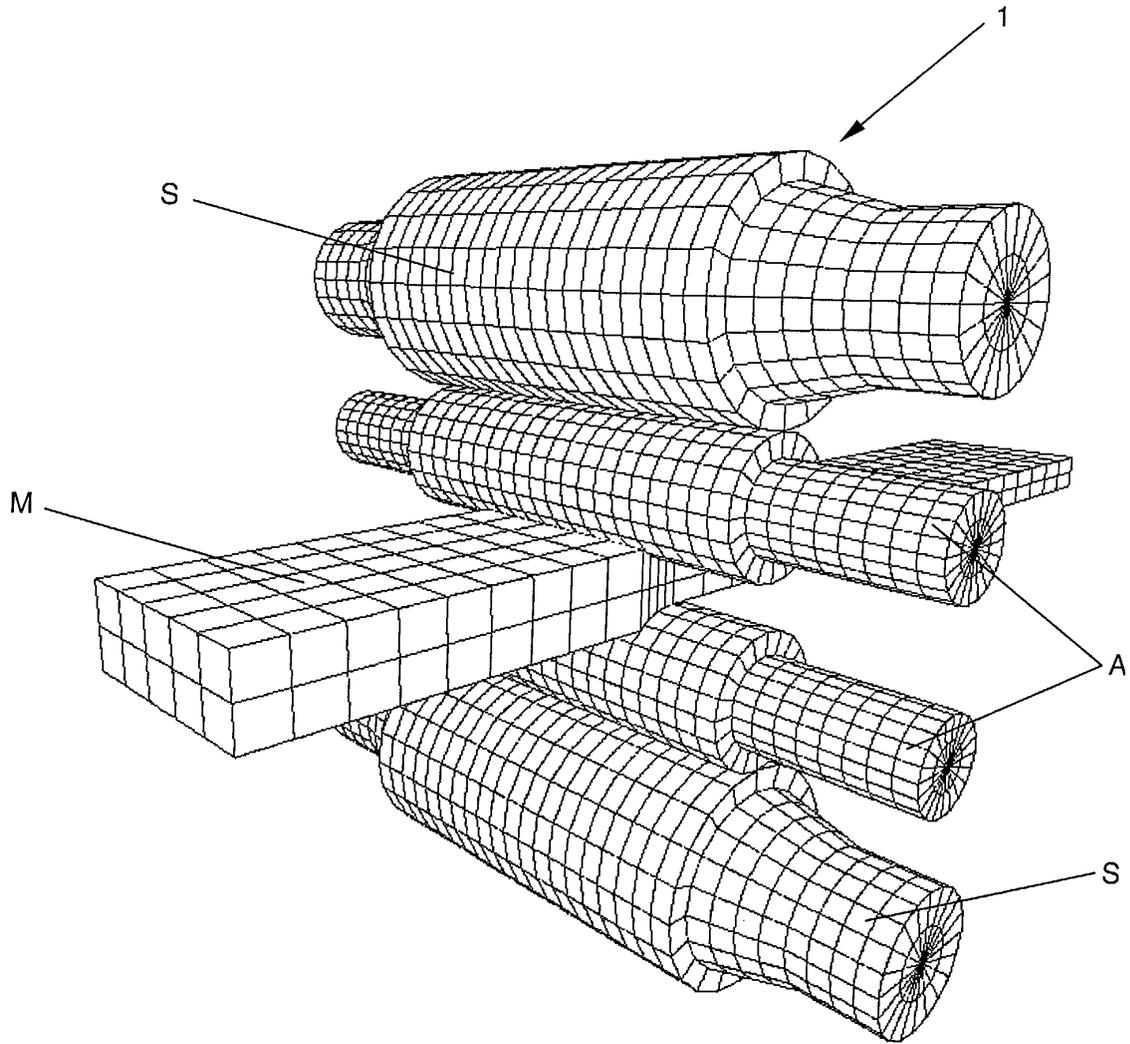


Fig. 1

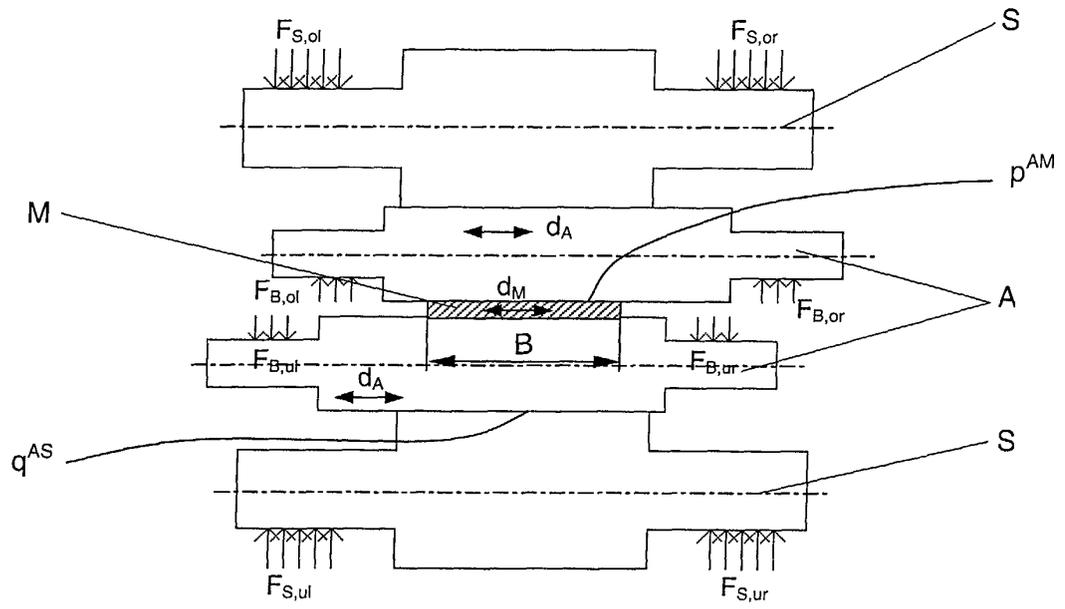


Fig. 2

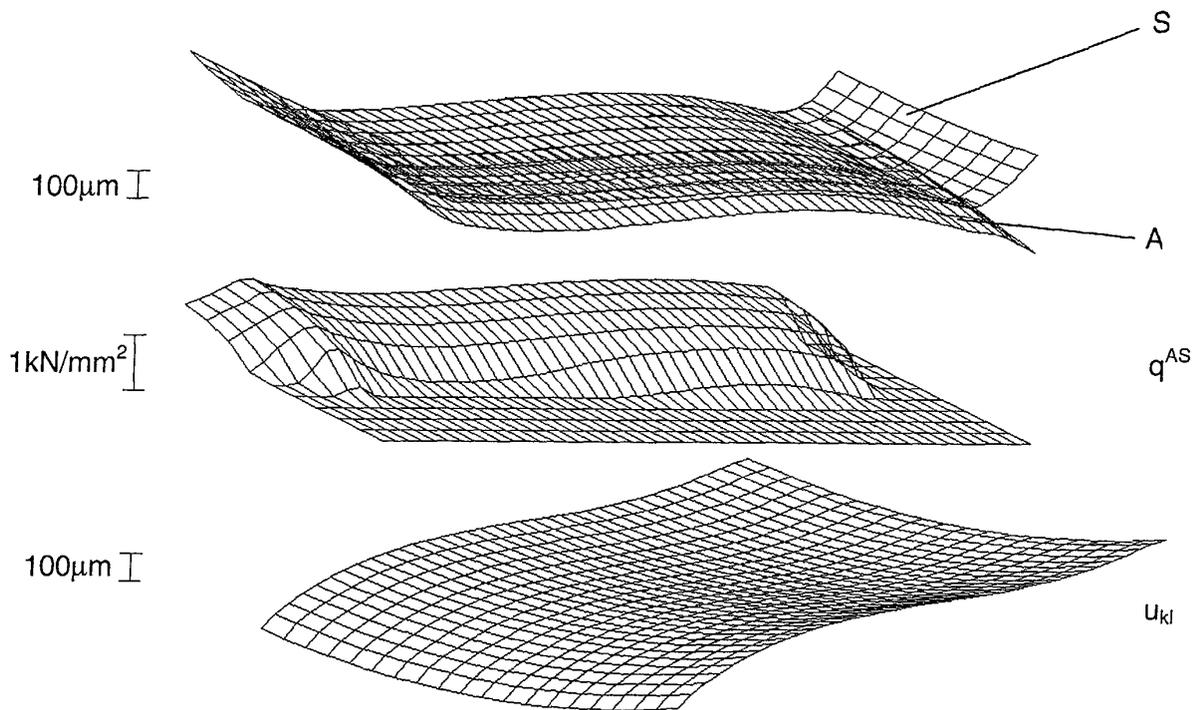


Fig. 3



Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 02 00 1665

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 5 873 277 A (BRUESTLE ROLAND) 23. Februar 1999 (1999-02-23)  * Anspruch 1; Abbildungen 1-3 * ----	1,2,18, 19, 21-23, 25,26	B21B37/42
X	DE 36 37 043 A (LICENTIA GMBH) 5. Mai 1988 (1988-05-05)  * das ganze Dokument * ----	1,2,18, 19, 21-23, 25,26	
X	DE 38 29 441 A (SULZER-ESCHER WYSS AG) 18. Januar 1990 (1990-01-18)	1,21,25, 26	
A	* Ansprüche 1,5,6; Abbildungen 1-4 * -----	3	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>MÜNCHEN</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>31. Mai 2002</b>	Prüfer <b>Meritano, L</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) <b>B21B</b>

EPO FORM 1503 03 82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 00 1665

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

31-05-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 5873277	A	23-02-1999	DE	19618712 A1		13-11-1997	
DE 3637043	A	05-05-1988	DE	3637043 A1		05-05-1988	
DE 3829441	A	18-01-1990	DE	3829441 A1		18-01-1990	
			WO	9000450 A1		25-01-1990	

EPC FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82